

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
5. August 2004 (05.08.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/065773 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: F02D 31/00, 41/10

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/000376

(22) Internationales Anmeldedatum: 20. Januar 2004 (20.01.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität: 103 02 263.5 22. Januar 2003 (22.01.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE/DE]; Maybachplatz 1, 88045 Friedrichshafen (DE).

(72) Erfinder; und

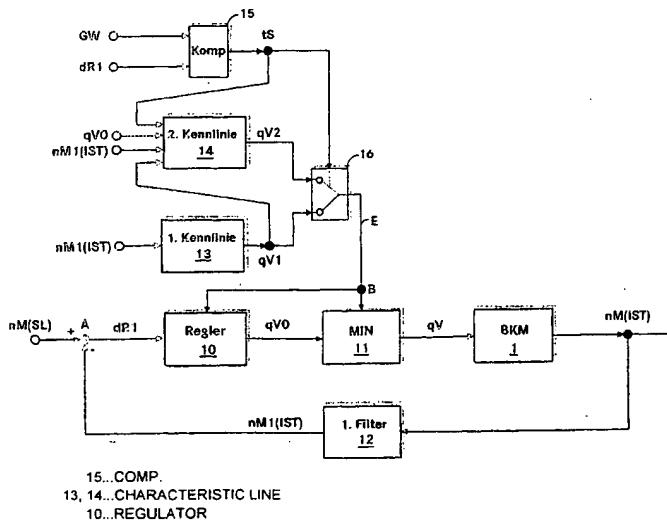
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DÖLKER, Armin [DE/DE]; Seestrasse West 34B, 88090 Immenstaad (DE). BUTSCHER, Franz [DE/DE]; Kirschweg 7, 88048 Friedrichshafen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR REGULATING THE ROTATIONAL SPEED OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR DREHZAHL-REGELUNG EINER BRENNKRAFTMASCHINE



(57) Abstract: According to the invention, the rotational speed of an internal combustion engine (1) is regulated. A first set injection quantity, which is calculated by means of a rotational speed regulator, is compared to another input variable by means of a minimal value selection. In a stationary operating state, the other input variable is determined by means of a first characteristic. In a dynamic operating state, the other input variable is determined by means of a second characteristic. The change over from the first characteristic to the second characteristic is carried out by fulfilling a switching condition which is determined according to the deviation.

(57) Zusammenfassung: Für eine Brennkraftmaschine (1) wird eine Drehzahl-Regelung vorgeschlagen, bei der eine erste Soll-Einspritzmenge, welche mittels eines Drehzahl-Reglers berechnet wird, mit einer weiteren Eingangsgröße über eine Minimalwert-Auswahl verglichen wird. Im stationären Betriebszustand wird die weitere Eingangsgröße über eine

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/065773 A1

Express Label No.  
EV342541950US



(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

MTU Friedrichshafen GmbH

Verfahren zur Drehzahl-Regelung einer Brennkraftmaschine

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Drehzahl-Regelung einer Brennkraftmaschine nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

Eine als Generatorantrieb oder Schiffsantrieb vorgesehene Brennkraftmaschine wird üblicherweise in einem Drehzahl-Regelkreis betrieben. Als Regelgröße wird hierbei die Ist-Drehzahl an der Kurbelwelle erfasst. Diese wird mit einer Führungsgröße, einer Soll-Drehzahl, verglichen. Die sich hieraus ergebende Regelabweichung wird mittels eines Drehzahl-Reglers in die Stellgröße, eine Soll-Einspritzmenge, umgesetzt. Über die Stellgröße wird die eingespritzte Kraftstoffmenge eingestellt. Zur Stabilisierung des Drehzahl-Regelkreises wird im Rückkopplungszweig ein Ein- oder Zweifeldrehungsfilter vorgesehen.

20 Eine derartige Brennkraftmaschine wird häufig in einem stationären Betriebszustand betrieben, d. h. bei einer konstanten Drehzahl. Beispielsweise entsprechen 1500 Umdrehungen/Minute bei einer Generatoranwendung einer Netzfrequenz von 50 Hz. Im weiteren Text wird der stationäre Betriebszustand als erster Betriebszustand bezeichnet.

Aufgrund äußerer Einflüsse kann ein dynamischer Betriebszustand auftreten, beispielsweise bei Lastabschaltung oder bei Austauchen des Schiffsantriebs. Der dynamische Betriebszustand wird im weiteren Text als zweiter Betriebszustand bezeichnet. Für den zweiten Betriebszustand definieren Indust-

rie-Normen eine zulässige Drehzahl-Überhöhung bei Auftreten des zweiten Betriebszustands, beispielsweise 10 Prozent der Nenndrehzahl.

5 Aus der DE 199 37 139 C1 ist ein Verfahren zur Steuerung einer Brennkraftmaschine bekannt, bei dem mit Erkennen einer signifikanten Laständerung am Abtrieb der Einspritzbeginn nach spät verstellt wird. Bei diesem Verfahren wird also mit Erkennen des zweiten Betriebszustands einer Erhöhung der 10 Drehzahl über eine Steuerung entgegengewirkt. Die Drehzahl-Erhöhung wird folglich nicht nur über den Drehzahl-Regler ausgeregelt. Als zusätzliche Maßnahme ist im Einspritzbeginn-Kennfeld eine Drehzahlbegrenzungs-Kurve zur Reduzierung der Soll-Einspritzmenge vorgesehen.

15 Aus dem gleichen Stand der Technik ist ebenfalls bekannt zwischen dem Drehzahl-Regler und der Regelstrecke eine Minimalwert-Auswahl anzuordnen. Über die Minimalwert-Auswahl wird die vom Drehzahl-Regler berechnete Soll-Einspritzmenge mit 20 einer weiteren Eingangsgröße verglichen.

Das aus dem Stand der Technik bekannte Verfahren hat sich in der Praxis bewährt. Problematisch ist jedoch der Umstand, dass der Drehzahlbereich im ersten Betriebszustand durch die 25 Drehzahlbegrenzungs-Kurve eingeschränkt wird.

Daher liegt der Erfindung die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zur Drehzahl-Regelung bereitzustellen, welches im Rahmen der Industrie-Normen eine größere Wahlfreiheit im ersten Betriebszustand gestattet.

Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Die Ausgestaltungen hierzu sind in den Unteransprüchen dargestellt.

35 Die Erfindung sieht vor, dass im ersten Betriebszustand der Brennkraftmaschine die weitere Eingangsgröße der Minimalwert-

Auswahl einer ersten Einspritzmenge entspricht, welche mittels einer ersten Kennlinie berechnet wird. Im zweiten Betriebszustand der Brennkraftmaschine entspricht die weitere Eingangsgröße der Minimalwert-Auswahl einer zweiten Einspritzmenge, welche mittels einer zweiten Kennlinie berechnet wird, wobei mit Erfüllen einer Umschalt-Bedingung von der ersten auf die zweite Kennlinie gewechselt wird. Die Umschalt-Bedingung ist dann erfüllt, wenn eine erste Regelabweichung negativ wird und einen Grenzwert unterschreitet. Eine negative Regelabweichung liegt immer dann vor, wenn die Regelgröße, also die Ist-Drehzahl der Brennkraftmaschine, größer als die Sollwert-Vorgabe wird. Bei Erfüllen der Umschalt-Bedingung wird die zweite Kennlinie mit dem Wert der ersten Einspritzmenge der ersten Kennlinie zum Umschaltzeitpunkt initialisiert. Danach wird über die zweite Kennlinie die zweite Einspritzmenge ausgehend vom Initialisierungswert auf Null oder einen Vorgabewert reduziert, wenn die Ist-Drehzahl weiter ansteigt.

Die größere Wahlfreiheit im ersten Betriebszustand wird durch die Erfindung dadurch erzielt, dass die erste Kennlinie keine oder eine zu hohen Drehzahlwerten verschobene Drehzahlbegrenzungs-Kurve enthält. Im ersten Betriebszustand kann vom Anwender jede beliebige Drehzahl eingestellt werden. Eine Drehzahl-Begrenzung erfolgt erst dann, wenn der zweite Betriebszustand erkannt wird. Über die zweite Kennlinie werden folglich die Vorgaben der Industrie-Normen eingehalten.

Da die Drehzahl-Begrenzung im zweiten Betriebszustand wie im Stand der Technik über eine Steuerung verwirklicht wird, ist eine Optimierung der Drehzahl-Reglerparameter für das Lastabschalten nicht erforderlich. Daher kann der Drehzahl-Regler vom Hersteller der Brennkraftmaschine ausschließlich für den ersten Betriebszustand optimiert werden. Für den Drehzahl-Regler können daher robuste Parameter verwendet werden.

In den Zeichnungen sind die bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

- Fig. 1 ein Systemschaubild
- 5 Fig. 2 einen Drehzahl-Regelkreis gemäß dem Stand der Technik
- Fig. 3 ein erstes Blockschaltbild (erstes Ausführungsbeispiel)
- Fig. 4 ein zweites Blockschaltbild (zweites Ausführungsbeispiel)
- 10 Fig. 5 eine Drehzahlbegrenzungs-Kurve nach dem Stand der Technik
- Fig. 6 eine erste Kennlinie
- Fig. 7 eine zweite Kennlinie
- Fig. 8 einen Programmablaufplan

15

Die Figur 1 zeigt ein Systemschaubild bestehend aus einer Brennkraftmaschine 1 mit einer Motorlast 3. Die Brennkraftmaschine 1 treibt über eine Welle mit einem Übertragungsglied 2 die Motorlast 3 an. Bei der dargestellten Brennkraftmaschine 1 wird der Kraftstoff über ein Common-Rail-System eingespritzt. Dieses umfasst folgende Komponenten: Pumpen 6 mit Saugdrossel zur Förderung des Kraftstoffs aus einem Kraftstofftank 5, ein Rail 7 zum Speichern des Kraftstoffs und Injektoren 9 zum Einspritzen des Kraftstoffs aus dem Rail 7 in die Brennräume der Brennkraftmaschine 1.

Die Betriebsweise der Brennkraftmaschine 1 wird durch ein elektronisches Steuergerät (EDC) 4 geregelt. Das elektronische Steuergerät 4 beinhaltet die üblichen Bestandteile eines Mikrocomputersystems, beispielsweise einen Mikroprozessor, I/O-Bausteine, Puffer und Speicherbausteine (EEPROM, RAM). In den Speicherbausteinen sind die für den Betrieb der Brennkraftmaschine 1 relevanten Betriebsdaten in Kennfeldern/Kennlinien appliziert. Über diese berechnet das elektronische Steuergerät 4 aus den Eingangsgrößen die Ausgangsgrößen. In Figur 1 sind exemplarisch folgende Eingangsgrößen dargestellt: ein Raildruck pCR, der mittels eines

Rail-Drucksensors 8 gemessen wird, ein Ist-Drehzahl-Signal  $nM(IST)$  der Brennkraftmaschine 1, eine Eingangsgröße EG und ein Signal FW zur Leistungswunsch-Vorgabe durch den Betreiber. Bei einer Fahrzeug-Anwendung entspricht dies der Fahrpedalstellung. Unter der Eingangsgröße EG sind beispielsweise der Ladeluftdruck eines Turboladers und die Temperaturen der Kühl-/Schmiermittel und des Kraftstoffs subsumiert.

In Figur 1 sind als Ausgangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 4 ein Signal ADV zur Steuerung der Pumpen 6 mit Saugdrossel und eine Ausgangsgröße A dargestellt. Die Ausgangsgröße A steht stellvertretend für die weiteren Stellsignale zur Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine 1, beispielsweise den Einspritzbeginn SB und eine Einspritzdauer SD. Über den Einspritzbeginn SB und die Einspritzdauer SD wird die Soll-Einspritzmenge  $qV$  definiert.

Figur 2 zeigt einen aus dem Stand der Technik bekannten Drehzahl-Regelkreis. Die Eingangsgrößen des Regelkreises sind die Führungsgröße, entsprechend einer Soll-Drehzahl  $nM(SL)$  und eine weitere Eingangsgröße E. Die Eingangsgröße E wird in Verbindung mit den Figuren 3 und 4 erläutert. Die Ausgangsgröße des Drehzahl-Regelkreises, also die Regelgröße, entspricht der rohen Ist-Drehzahl  $nM(IST)$ . Diese wird über ein erstes Filter 12 in eine erste gefilterte Ist-Drehzahl  $nM1(IST)$  gewandelt. Im weiteren Text wird diese als erste Ist-Drehzahl  $nM1(IST)$  bezeichnet. Das erste Filter 12 ist im Rückkopplungszweig des Drehzahl-Regelkreises angeordnet. Üblicherweise ist dieses als Ein- oder Zwei-Umdrehungsfilter ausgeführt. Bei einem Zwei-Umdrehungsfilter werden die Drehzahlimpulse der Kurbelwelle über ein Arbeitsspiel der Brennkraftmaschine 1 erfasst, d. h. 720 Grad. An einem Vergleichspunkt A werden die Soll-Drehzahl  $nM(SL)$  und die erste Ist-Drehzahl  $nM1(IST)$  miteinander verglichen. Die sich hieraus ergebende erste Regelabweichung  $dR1$  wird über einen Drehzahl-Regler 10 in eine erste Soll-Einspritzmenge  $qV0$  umgesetzt. Über eine Minimalwert-Auswahl 11 werden die

erste Soll-Einspritzmenge  $qV_0$  und die weitere Eingangsgröße  $E$  miteinander verglichen. Die Ausgangsgröße der Minimalwert-Auswahl 11 entspricht einer zweiten Soll-Einspritzmenge  $qV$ . Diese entspricht entweder dem Wert  $qV_0$  oder der Eingangsgröße  $E$ . Die zweite Soll-Einspritzmenge  $qV$  ist als Eingangsgröße auf die Regelstrecke, hier die Brennkraftmaschine 1, geführt. Damit ist der Regelkreis geschlossen.

In Figur 3 ist ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung 10 als Blockschaltbild dargestellt. Mit den Bezugszeichen 1 und 10 bis 12 ist der zuvor beschriebene Drehzahl-Regelkreis dargestellt. Die Erfindung sieht nun vor, dass die Eingangsgröße  $E$  der Minimalwert-Auswahl 11 über eine erste Kennlinie 13 oder eine zweite Kennlinie 14 bestimmt wird. Die Eingangsgröße 15 der ersten Kennlinie 13 entspricht der ersten Ist-Drehzahl  $nM_1(IST)$ . Über die erste Kennlinie 13 wird der Eingangsgröße eine erste Einspritzmenge  $qV_1$  zugeordnet. Die erste Kennlinie 13 ist in Figur 6 dargestellt und wird in Verbindung mit dieser erklärt. Die Eingangsgrößen der zweiten Kennlinie sind: 20 die erste Einspritzmenge  $qV_1$ , die erste Ist-Drehzahl  $nM_1(IST)$  und ein Signal Umschalt-Zeitpunkt  $tS$ . Die erste Einspritzmenge  $qV_1$ , also die Ausgangsgröße der ersten Kennlinie 13, wird über einen entsprechenden Rückkopplungszweig der zweiten Kennlinie 14 zugeführt. Über die zweite Kennlinie 14 wird in 25 Abhängigkeit der Eingangsgrößen eine zweite Einspritzmenge  $qV_2$  berechnet. Die erste Einspritzmenge  $qV_1$  und die zweite Einspritzmenge  $qV_2$  sind auf einen Schalter 16 geführt. Der Zustand des Schalters 16 wird über das Signal Umschalt-Zeitpunkt  $tS$  definiert. Dieses wiederum wird mittels eines 30 Komparators 15 aus der ersten Regelabweichung  $dR_1$  und einem Grenzwert  $GW$  berechnet. An einem Abzweigungspunkt B wird die Ausgangsgröße des Schalters 16 zusätzlich auf den Drehzahl-Regler 10 geführt. Dieser Signalpfad dient zur Begrenzung des integrierenden Anteils des Drehzahl-Reglers 10.

35

Die Funktion der Anordnung ist folgendermaßen: Im ersten Betriebszustand befindet sich der Schalter 16 in der gezeich-

neten Stellung. In diesem Betriebszustand wird die Eingangsgröße  $E$  der Minimalwert-Auswahl 11 über die erste Kennlinie 13 bestimmt. Die Eingangsgröße  $E$  entspricht folglich dem Wert der ersten Einspritzmenge  $qV1$ . Mit Erfüllen der Umschalt-Bedingung setzt der Komparator 15 das Signal  $tS$ . Die Umschalt-Bedingung wird erfüllt, wenn die erste Regelabweichung  $dR1$  negativ wird und den Grenzwert  $GW$  unterschreitet. Ein typischer Wert für den Grenzwert  $GW$  beträgt minus 80 Umdrehungen/Minute. Mit Setzen des Signals  $tS$  ändert der Schalter 16 seine Position in die gestrichelte Stellung. Gleichzeitig wird die zweite Kennlinie 14 mit dem zuletzt berechneten Wert  $qV1(tS)$  der ersten Einspritzmenge initialisiert. Über die zweite Kennlinie 14 wird ausgehend vom Initialisierungs-Wert  $qV1(tS)$  die zweite Einspritzmenge  $qV2$  auf den Wert Null verringert, wenn die erste Ist-Drehzahl  $nM1(IST)$  weiter ansteigt. Sobald die zweite Einspritzmenge  $qV2$  unter den Wert der ersten Soll-Einspritzmenge  $qV0$  fällt, wird die zweite Einspritzmenge  $qV2$  über die Minimalwert-Auswahl 11 als maßgeblich für die zweite Soll-Einspritzmenge  $qV$  gesetzt. Die zweite Kennlinie 14 bewirkt also bei ansteigender erster Ist-Drehzahl, dass in die Brennräume der Brennkraftmaschine 1 eine abnehmende Einspritzmenge eingespritzt wird. Hierdurch wird die Drehzahl-Zunahme begrenzt. Selbstverständlich ist es möglich die zweite Einspritzmenge  $qV2$  anstatt auf Null nur auf einen Minimalwert zu reduzieren.

Alternativ ist vorgesehen, dass die zweite Kennlinie mit Erfüllen der Umschalt-Bedingung mit dem zuletzt berechneten Wert  $qV0(tS)$  der ersten Soll-Einspritzmenge  $qV0$  im Umschaltzeitpunkt  $tS$  initialisiert wird. Diese Alternative ist in Figur 3 gestrichelt dargestellt. Der Rückkopplungszweig von der ersten Kennlinie 13 zur zweiten Kennlinie 14 entfällt bei dieser Alternative.

35

In Figur 4 ist ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung als Blockschaltbild dargestellt. Diese Darstellung unter-

scheidet sich zur Figur 3 durch ein zusätzliches zweites Filter 17. Über dieses wird aus der ungefilterten Ist-Drehzahl  $nM(IST)$  eine zweite gefilterte Ist-Drehzahl  $nM2(IST)$  berechnet. Im weiteren Text wird diese als zweite Ist-Drehzahl bezeichnet. Die zweite Ist-Drehzahl  $nM2(IST)$  wird mit der Soll-Drehzahl  $nM(SL)$  an einem Punkt C verglichen. Hieraus errechnet sich eine zweite Regelabweichung  $dr2$ . Die zweite Regelabweichung  $dr2$  stellt die Eingangsgröße für den Komparator 15 dar. Die zweite Ist-Drehzahl  $nM2(IST)$  10 stellt die Eingangsgröße für die zweite Kennlinie 14 dar. Das zweite Filter 17 erfasst einen kleineren Kurbelwellen-Winkel als das erste Filter 12. Beispielsweise erfasst das zweite Filter 17 einen Winkel von 90 Grad. Hierdurch wird eine kürzere Reaktionszeit auf Drehzahländerungen der ungefilterten Ist-Drehzahl  $nM(IST)$  erzielt. Für die weitere 15 Funktionalität der Anordnung gilt die Beschreibung der Figur 3.

In Figur 5 ist eine Drehzahlbegrenzungs-Kurve nach dem Stand 20 der Technik dargestellt. Hierbei sind auf der Abszisse die erste Ist-Drehzahl  $nM1(IST)$  und auf der Ordinate die Soll-Einspritzmenge  $qV$  aufgetragen. Als durchgezogene Linie ist die Drehzahlbegrenzungs-Kurve DBR dargestellt. Die DBR-Kurve setzt sich zusammen aus einem parallel zur Abzisse verlaufenden 25 Geradenabschnitt und einem fallenden Geradenabschnitt. Der fallende Geradenabschnitt zwischen den Punkten A und B wird im weiteren Text als Abregel-Kurve bezeichnet. Mit Bezugssymbol C ist ein erster Betriebspunkt eingezeichnet. Zu diesem gehört das Wertepaar  $nC$  und  $qC$ . Bei einer 50 Hz-Generatoranwendung entspricht der Drehzahlwert  $nC$  im Betriebspunkt C einem Drehzahlwert von 1500 Umdrehungen/Minute.

Das Verfahren nach dem Stand der Technik läuft folgendermaßen ab: Aufgrund einer Lastabschaltung vergrößert sich die erste 35 Ist-Drehzahl  $nM1(IST)$  vom Drehzahlwert  $nC$  im Punkt C in Richtung des Punkts D. Der Punkt D liegt auf der Abregel-Kurve, Wertepaar  $nD$  und  $qD$ . Mit Erreichen des Punkts D wird die

Soll-Einspritzmenge  $qV$  vom Wert  $qD$  entlang der Abregel-Kurve auf den Wert Null reduziert. Da die Industrie-Normen für das Lastabschalten eine Drehzahl-Überhöhung von beispielsweise maximal 10 Prozent der Nenndrehzahl vorgeben, wird in der 5 Praxis die DBR-Kurve so gewählt, dass dieses Kriterium garantiert eingehalten wird. Bei einem Drehzahlwert  $nC$  im Punkt C von 1500 Umdrehungen/Minute bedeutet dies, dass dem Punkt D beispielsweise 1580 Umdrehungen/Minute zugeordnet wird. Durch die DBR-Kurve werden die Lastabschaltkriterien sicher er- 10 füllt. Problematisch ist jedoch, dass ein Betriebspunkt E mit dem Drehzahlwert  $nE$  im ersten Zustand nicht eingestellt werden kann.

In Figur 6 ist die erste Kennlinie 13 dargestellt. Die Ein- 15 gangsgröße ist die erste Ist-Drehzahl  $nM1(IST)$ . Die Ausgangsgröße ist die erste Einspritzmenge  $qV1$ . Die erste Kennlinie 13 ist in der Form ausgeführt, dass die Abregel-Kurve entfällt oder zu großen Drehzahlwerten der ersten Ist-Drehzahl  $nM1(IST)$  verschoben wird. Mit Bezugszeichen DBR1 ist eine zu 20 hohen Drehzahlwerten verschobene Abregel-Kurve dargestellt. In Figur 6 ist als gestrichelte Linie eine Kurve DBR2 dargestellt. Diese entspricht dem Wegfall der Abregel-Kurve. Im Unterschied zur Figur 5 befindet sich der Betriebspunkt E nunmehr im zulässigen Bereich. Der Betreiber der Brennkraft- 25 maschine kann folglich den Betriebspunkt E einstellen.

In Figur 7 ist die zweite Kennlinie 14 dargestellt. Die Ein- 30 gangsgröße entspricht der ersten Ist-Drehzahl  $nM1(IST)$ . Die Ausgangsgröße entspricht der zweiten Einspritzmenge  $qV2$ . In Figur 7 sind alternativ drei fallende Geraden dargestellt, entsprechend den Kurven zwischen dem Punkt AB, AF und DG.

Die Funktion der Erfindung wird anhand der Figur 6 und Figur 7 erläutert. Die Brennkraftmaschine wird im ersten Betriebszustand im Betriebspunkt C betrieben. Auf Grund eines Lastabwurfs vergrößert sich die erste Ist-Drehzahl  $nM1(IST)$  vom Betriebspunkt C nach D. Im Punkt D wird die Umschalt-Bedingung

erfüllt. Die Umschalt-Bedingung wird erfüllt, wenn die erste Regelabweichung  $dR1$  negativ wird und einen Grenzwert  $GW$  unterschreitet, beispielsweise minus 80 Umdrehungen/Minute. In Figur 6 ist der Betrag dieses Grenzwerts  $GW$  entsprechend eingezzeichnet. Mit Erfüllen der Umschalt-Bedingung wird von der ersten Kennlinie auf die zweite Kennlinie (Figur 7) umgeschaltet. Der Wert  $qDBR$  der ersten Einspritzmenge  $qV1$  zum Umschalt-Zeitpunkt  $tS$  wird als Initialisierungs-Wert für die zweite Kennlinie gesetzt. Ausgehend von diesem Wert  $qDBR$  wird die zweite Einspritzmenge  $qV2$  reduziert. Erhöht sich die erste Ist-Drehzahl  $nM1(IST)$  über den Drehzahlwert  $nD$  des Punkts D, so wird die zweite Einspritzmenge  $qV2$  entsprechend einer der drei Abregel-Kurven nach Figur 7 abgeregelt. Über die Abregel-Kurve mit den Punkten A und B (durchgezogene Linie) wird die zweite Einspritzmenge  $qV2$  auf Null geführt. Über die Abregel-Kurve mit den Punkten A und F (gestrichelte Linie) wird über einen Drehzahlbereich  $dn$  die zweite Einspritzmenge  $qV2$  auf einen Wert  $qMIN$  geführt. In der Praxis wird der Wert  $qMIN$  kleiner gewählt als die Leerlauf-Einspritzmenge  $qLL$ . Über die Abregel-Kurve mit den Punkten D und G (strichpunktiierte Linie) wird die zweite Einspritzmenge  $qV2$  ausgehend vom Punkt D, Wert  $qD$ , auf Null reduziert. Diese Abregel-Kurve DG kommt dann zur Anwendung, wenn zum Umschaltzeitpunkt  $tS$  die zweite Kennlinie mit dem Wert  $qV0(tS)$  der ersten Soll-Einspritzmenge  $qV0$  initialisiert wird. Dies entspricht den in den Figuren 3 und 4 eingezzeichneten Alternativen. Als Vorteil ergibt sich bei diesem Beispiel eine schnellere Reduzierung der zweiten Einspritzmenge  $qV2$ .

Die Auswahl der entsprechenden Abregel-Kurve wird von der angetriebenen Last bestimmt. Anstelle der als Gerade ausgeführten Übergangsfunktion kann jede beliebige Funktion verwendet werden. Selbstverständlich ist es auch möglich einen größeren Wert als die Einspritzmenge  $qD$  als Initialisierungswert zu setzen. Auf der Abszisse der Figur 7 ist in Klammern gesetzt die zweite Ist-Drehzahl  $nM2(IST)$  aufgetragen. Die zweite Ist-Drehzahl  $nM2(IST)$  ist bei Verwendung des

zweiten Filters 17 die Eingangsgröße der zweiten Kennlinie 14, siehe Figur 4.

In Figur 8 ist ein Programmablaufplan dargestellt. Bei S1 wird die erste Regelabweichung  $dR1$  berechnet. Danach wird bei S2 geprüft, ob die erste Regelabweichung  $dR1$  den Grenzwert  $GW$  unterschreitet. Ist dies nicht der Fall, so wird zu S3 verzweigt und der erste Betriebszustand gesetzt. Ist die erste Regelabweichung  $dR1$  negativ und unterschreitet den Grenzwert 10  $GW$ , so ist die Umschalt-Bedingung erfüllt. Danach wird bei S4 der zweite Betriebszustand gesetzt und bei S5 von der ersten Kennlinie auf die zweite Kennlinie gewechselt. Hierzu wird die zweite Kennlinie mit dem Wert  $qV1(tS)$  der ersten Einspritzmenge  $qV1$  zum Umschalt-Zeitpunkt  $tS$  initialisiert. Bei 15 S6 wird die zweite Einspritzmenge  $qV2$  über die zweite Kennlinie, entsprechend der Figur 7, bestimmt. Danach wird bei S7 geprüft, ob die zweite Einspritzmenge  $qV2$  die erste Soll-Einspritzmenge  $qV0$ , welche vom Drehzahl-Regler aus der ersten Regelabweichung  $dR1$  berechnet wird, unterschreitet. Ist dies 20 nicht der Fall, so bleibt bei S9 die zweite Einspritzmenge  $qV2$  dominant für die zweite Soll-Einspritzmenge  $qV$  und der Programmablaufplan ist beendet. Unterschreitet die zweite Einspritzmenge  $qV2$  den Wert der ersten Soll-Einspritzmenge  $qV0$  im Schritt S7, so wird die erste Soll-Einspritzmenge  $qV0$  25 als dominant für die zweite Soll-Einspritzmenge  $qV$  gesetzt, Schritt S8. Bei Verwendung des zweiten Filters 17, entsprechend der Darstellung der Figur 4, erfolgt die Abfrage im Schritt S2 auf die zweite Regelabweichung  $dR2$ .

30 Die Erfindung bietet folgende Vorteile:

- die Lastabschalt-Kriterien werden sicher eingehalten;
- keine Begrenzung des Drehzahl-Verstellbereichs im ersten Betriebszustand;
- 35 - die Drehzahl-Reglerparameter müssen nicht auf das Lastabschaltverhalten optimiert werden;
- eine robuste Auslegung des Drehzahl-Reglers ist möglich;

- ein optimaler Gleichlauf im ersten Betriebszustand wird durch die langsame Filterung (erstes Filter) erzielt;
- eine freie Gestaltung der stationären DBR-Kurve ist möglich.

5

10

15

20

25

30

35

**Bezugszeichen**

- 5 1 Brennkraftmaschine
- 2 Übertragungsglied
- 3 Motorlast
- 4 elektronisches Steuergerät EDC
- 5 Kraftstofftank
- 10 6 Pumpen
- 7 Rail
- 8 Rail-Drucksensor
- 9 Injektoren
- 10 Drehzahl-Regler
- 15 11 Minimalwert-Auswahl
- 12 erstes Filter
- 13 erste Kennlinie
- 14 zweite Kennlinie
- 15 Komparator
- 20 16 Schalter
- 17 zweites Filter

25

30

MTU Friedrichshafen GmbH

16.01.2004

Patentansprüche

5 1. Verfahren zur Drehzahl-Regelung einer Brennkraftmaschine  
(1) bei dem aus einem Soll-Ist-Vergleich der Drehzahlen  
eine erste Regelabweichung ( $dR1$ ) berechnet wird, aus der  
ersten Regelabweichung ( $dR1$ ) mittels eines Drehzahl-  
Reglers (10) eine erste Soll-Einspritzmenge ( $qV0$ ) berech-  
net wird und aus der ersten Soll-Einspritzmenge ( $qV0$ ) so-  
wie einer weiteren Eingangsgröße (E) mittels einer Mini-  
malwert-Auswahl (11) eine zweite Soll-Einspritzmenge ( $qV$ )  
zur Drehzahl-Regelung der Brennkraftmaschine (1) bestimmt  
wird,  
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass in einem ersten Betriebszustand der Brennkraftma-  
schine (1) die Eingangsgröße (E) einer ersten Einspritz-  
menge ( $qV1$ ) entspricht ( $E = qV1$ ), welche mittels einer  
ersten Kennlinie (13) berechnet wird, in einem zweiten  
20 Betriebszustand der Brennkraftmaschine (1) die Eingangs-  
größe (E) einer zweiten Einspritzmenge ( $qV2$ ) entspricht  
( $E = qV2$ ), welche mittels einer zweiten Kennlinie (14)  
berechnet wird und mit Erfüllen einer Umschalt-Bedingung  
von der ersten (13) auf die zweite Kennlinie (14) gewech-  
25 selt wird.

2. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Umschalt-Bedingung erfüllt wird, wenn die erste  
30 Regelabweichung ( $dR1$ ) negativ wird ( $dR1 < 0$ ) und einen  
Grenzwert (GW) unterschreitet ( $dR1 < GW$ ).

3. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass mit Erfüllen der Umschalt-Bedingung die zweite Kennlinie (14) mit dem Wert ( $qV1(tS)$ ) der ersten Einspritzmenge ( $qV1$ ) zum Umschalt-Zeitpunkt ( $tS$ ) initialisiert wird.  
5
4. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass mit Erfüllen der Umschalt-Bedingung die zweite Kennlinie (14) mit dem Wert ( $qV0(tS)$ ) der ersten Soll-Einspritzmenge ( $qV0$ ) zum Umschaltzeitpunkt ( $tS$ ) initialisiert wird.  
10
- 15 5. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass mit Erfüllen der Umschalt-Bedingung die zweite Kennlinie (14) mit einem größeren Wert als die erste Soll-Einspritzmenge ( $qV0$ ) zum Umschaltzeitpunkt ( $tS$ ) initialisiert wird.
6. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der zweiten Kennlinie (14) die zweite Einspritzmenge ( $qV2$ ) ausgehend vom Initialisierungs-Wert auf Null ( $qV2 = 0$ ) oder einen Vorgabewert ( $qMIN$ ) gemäß einer Übergangsfunktion reduziert wird ( $qV2 = qMIN$ ).  
25
- 30 7. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Vorgabewert ( $qMIN$ ) kleiner als eine Leerlauf-Einspritzmenge ( $qLL$ ) ist.
- 35 8. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

dass eine zweite Regelabweichung (dR2) berechnet wird und die Umschalt-Bedingung erfüllt wird, wenn die zweite Regelabweichung (dR2) negativ wird ( $dR2 < 0$ ) und einen Grenzwert (GW) unterschreitet ( $dR2 < GW$ ).

5

9. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Regelabweichung (dR1) maßgeblich von einer ersten gefilterten Ist-Drehzahl ( $nM1(IST)$ ) bestimmt wird und die zweite Regelabweichung (dR2) maßgeblich von einer zweiten gefilterten Ist-Drehzahl ( $nM2(IST)$ ) bestimmt wird, wobei die erste gefilterte Ist-Drehzahl ( $nM1(IST)$ ) mittels eines ersten Filters (12) und die zweite gefilterte Ist-Drehzahl ( $nM2(IST)$ ) mittels eines zweiten Filters (17) aus der Ist-Drehzahl ( $nM(IST)$ ) der Brennkraftmaschine (1) berechnet wird.

10

15

20

10. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 9,

dadurch gekennzeichnet,

dass das erste Filter (12) einen größeren Kurbelwellen-Winkel als das zweite Filter (17) erfasst.

25

11. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Eingangsgröße (E) der Minimalwert-Auswahl (11) als Begrenzungswert für den integrierenden Anteil des Drehzahl-Reglers (10) gesetzt wird.

30

35

1 / 6

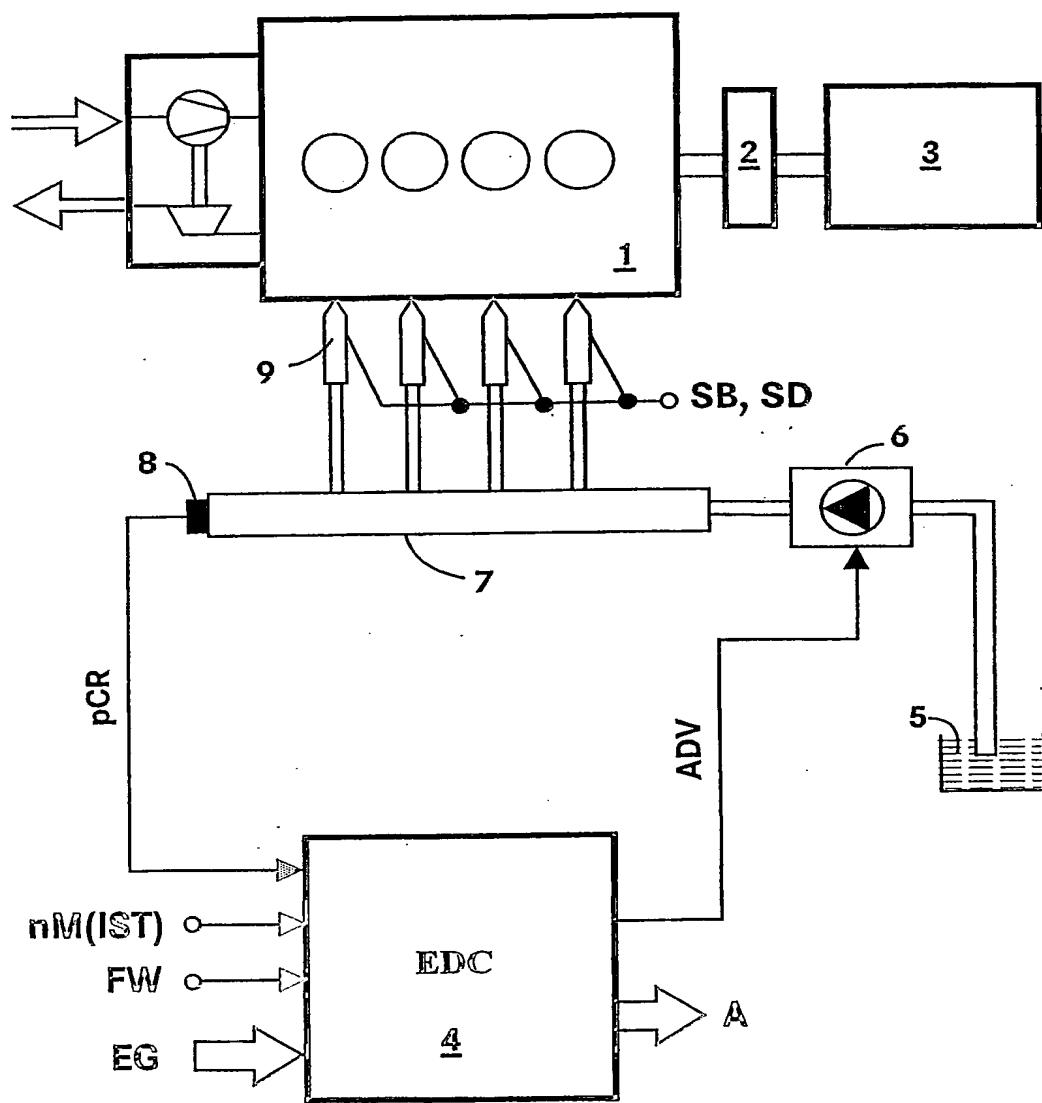


Fig. 1

2 / 6

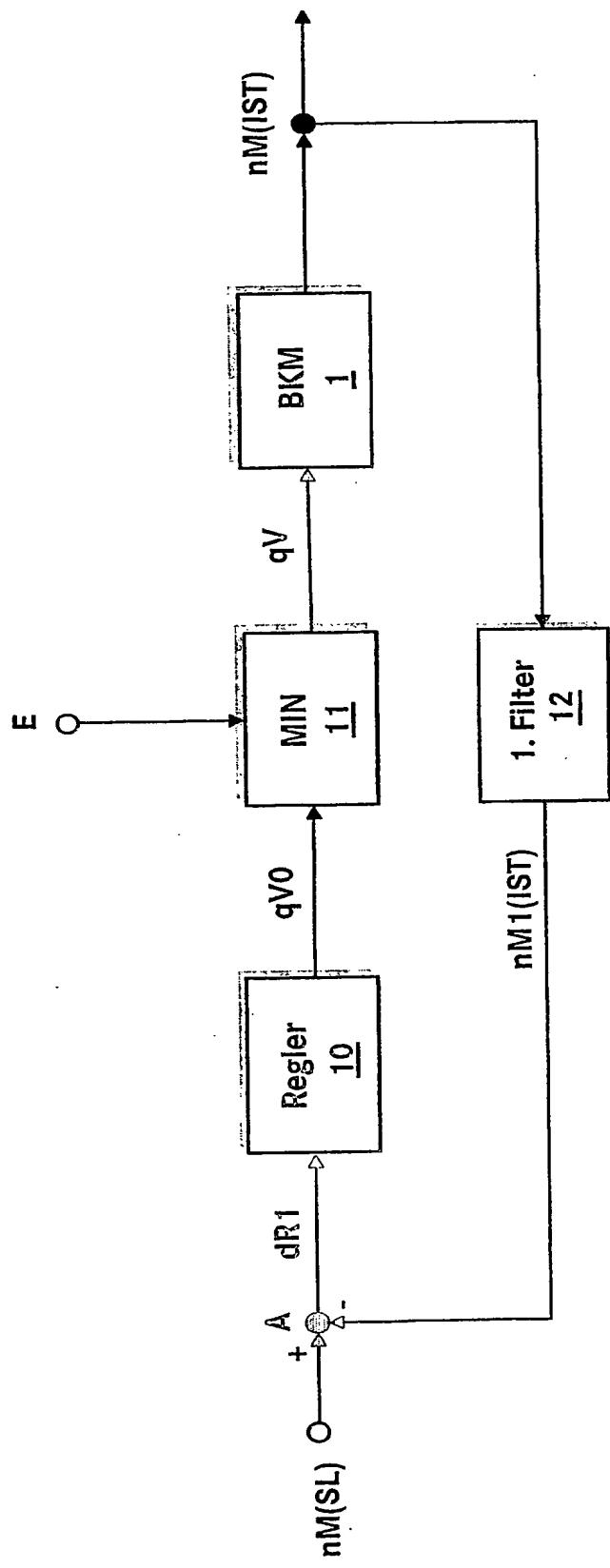


Fig. 2

3 / 6

Fig. 3

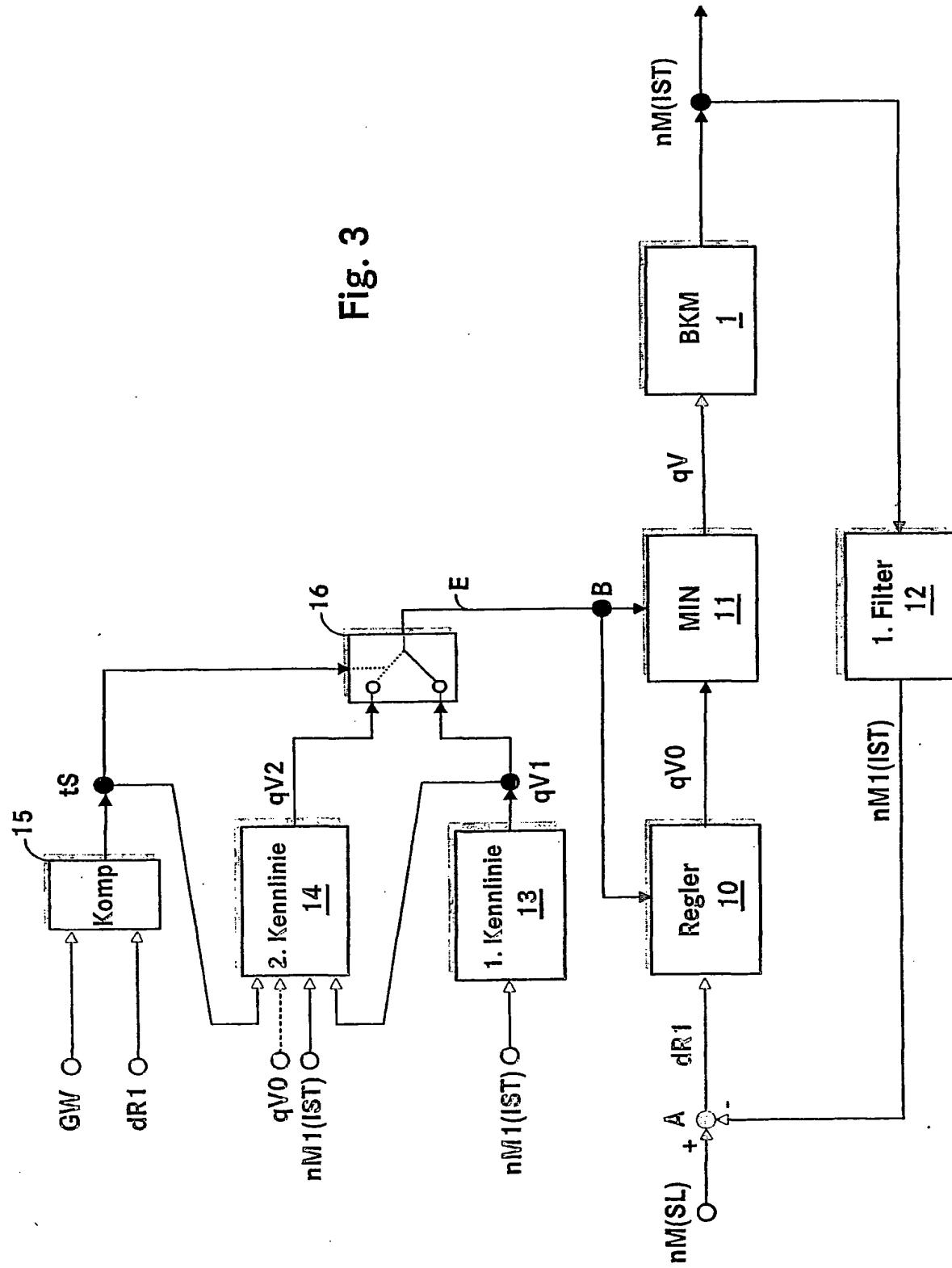
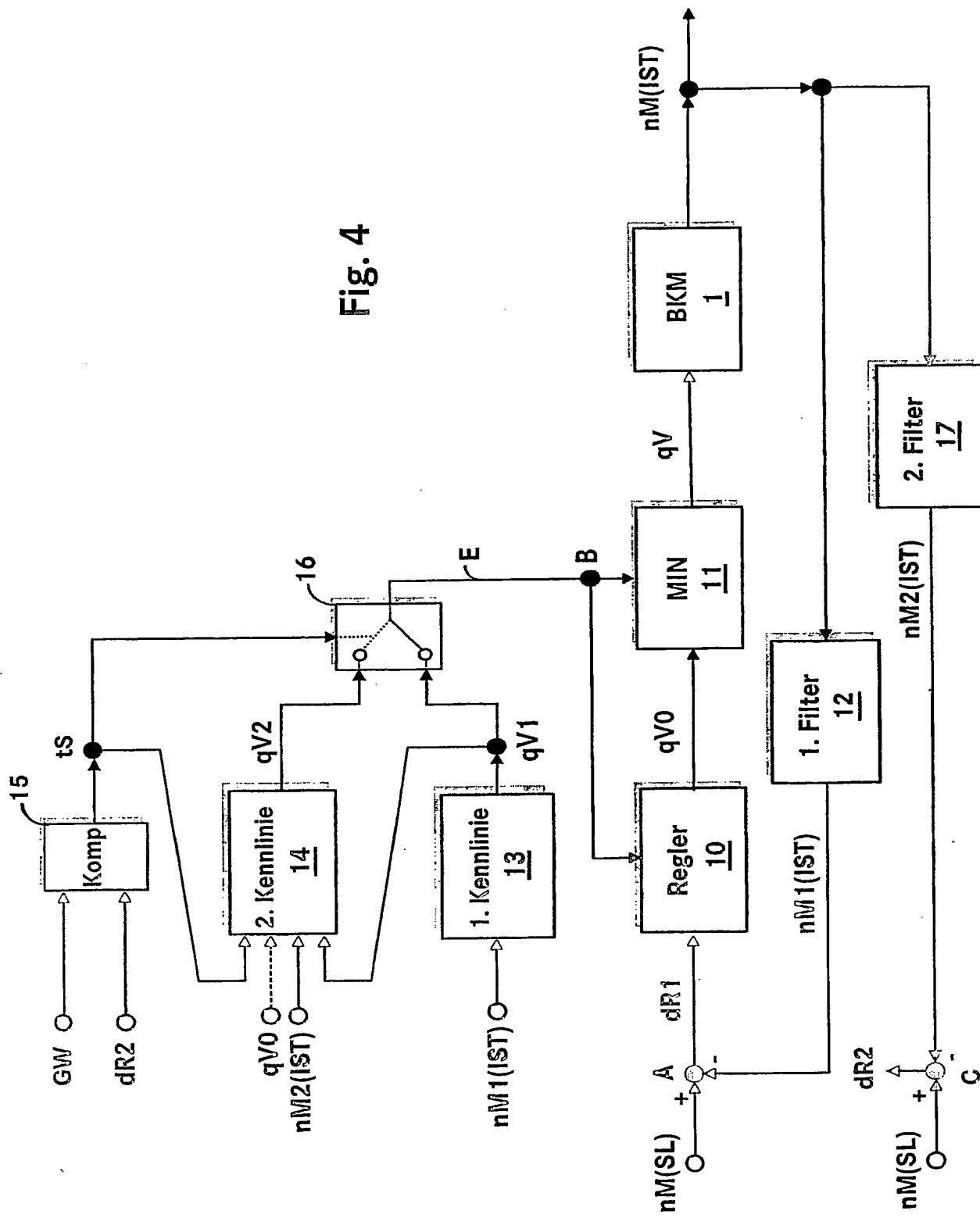


Fig. 4



5 / 6

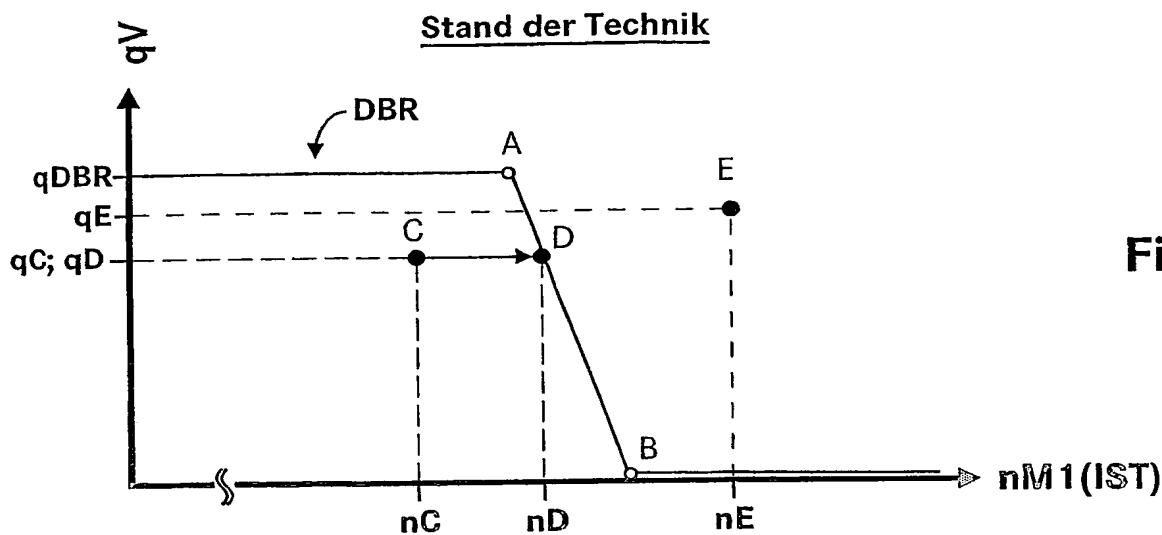


Fig. 5

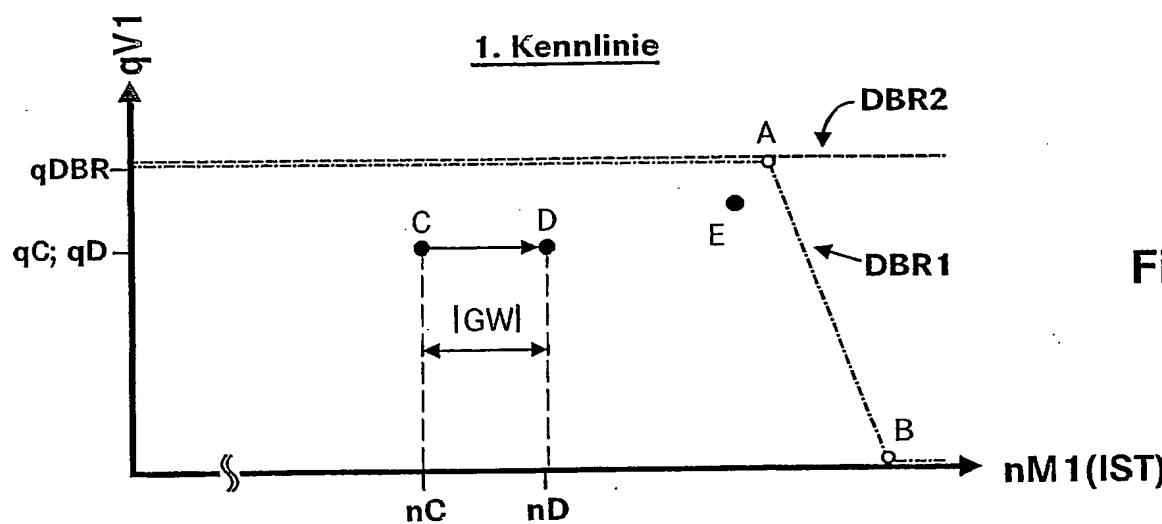


Fig. 6

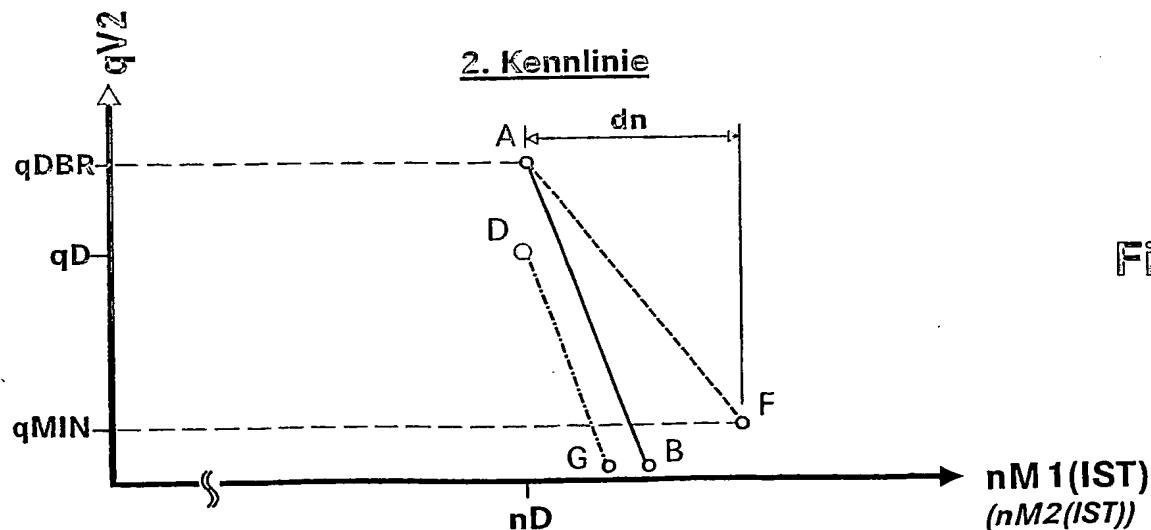


Fig. 7

6 / 6

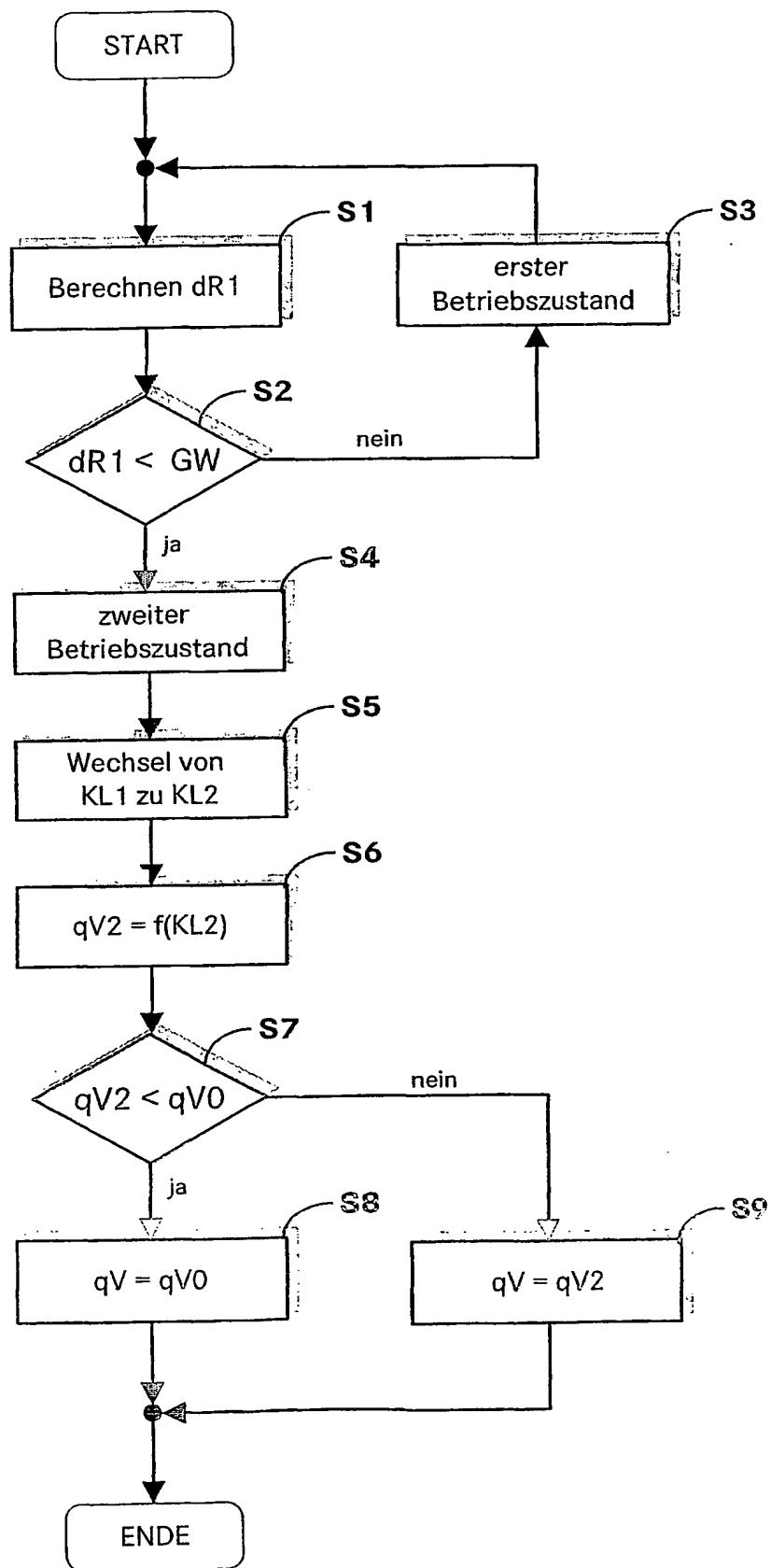


Fig. 8